

УДК 674.812.2; 674.05

**А. В. Шишов**, аспирант (БГТУ);**Л. В. Игнатович**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**А. В. Спиглазов**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)**ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОГО ДЕФОРМАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ СЛОИСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО УСЛОВИЮ ПРОЧНОСТИ НА ИЗГИБ И РАСТЯЖЕНИЕ**

В статье приводится анализ существующих моделей оценки и расчета жесткости слоистых конструкций. Обосновывается необходимость их дополнения для расчета деформативного состояния декоративных слоистых конструкций с учетом угла между направлением волокон и осью изгиба пакета, а также влияние на жесткость пакета изменения модуля упругости его отдельных слоев. Раскрывается необходимость учета влияния возникающих касательных напряжений между листами пакета при расчете его жесткости и деформативности.

In article the analysis of existing models of an estimation and calculation of rigidity of layered designs is resulted. Necessity of their addition for calculation deformation conditions of decorative layered designs is proved. Influence on rigidity of a package of change of the module of elasticity of its separate layers, depending on a corner between a direction dragging and an axis of a bend of a package is analysed. Necessity of the account of influence of arising tangents of pressure between package sheets reveals at calculation of its rigidity and deformation.

**Введение.** Технология декоративного слоистого материала с эффектом натуральной древесины позволяет изготавливать материал, обладающий всеми факторами, определяющими декоративную ценность текстуры древесины, с использованием при этом шпона малоценных мягколиственных пород. Для получения декоративного материала предлагается применять, кроме форматных листов шпона, и шпон-рванину, а также кусковой шпон, что позволит решить проблему комплексного и рационального использования древесины.

Для изготовления декоративных элементов мебели предлагается следующая технология:

- раскрой лущеного шпона мягких лиственных пород (березы, осины, ольхи) на заготовки необходимого размера;
- сквозное окрашивание полученных листов лущеного шпона в ваннах для придания необходимого цвета;
- подбор листов шпона в композицию для получения желаемого цвета конечного рисунка;
- нанесение клеевого водостойкого состава на основе фенолформальдегидных малотоксичных клеев холодного отверждения;
- набор листов шпона в пакеты;
- деформирование пакета в процессе пресования под высоким давлением;
- форматная обработка склеенного блока;
- строгание (распиливание) блока на тонкослойные элементы от 0,6 до 8 мм в зависимости от назначения получаемого изделия.

**Основная часть.** Основным этапом в процессе производства декоративного материала, определяющим рисунок на его поверхности, является процесс склеивания пакета с одновременной его деформацией. Получение разнооб-

разных рисунков достигается применением различных схем нагружения. Так, например, в наиболее простых случаях пакет может деформироваться под действием сосредоточенной силы или равномерно распределенной нагрузки. При получения сложных узоров на поверхности слоистого декоративного материала необходимо применять различные комбинации схем нагружения.

С учетом различных вариантов схем нагружения предельное деформативное состояние пакета в общем виде определяется по формуле

$$f(x) = \frac{1}{D} \cdot \iint M(x) dx. \quad (1)$$

Как видно из приведенного уравнения, деформация пакета не зависит от схемы нагружения и обратно пропорциональна жесткости пакета. В свою очередь, жесткость слоистых конструкций рассчитывается по показателям физико-механических характеристик элементов, входящих в состав той или иной конструкции.

Известны две модели оценки и расчета жесткости слоистых конструкций [1].

Согласно первой модели, предлагается усреднить модуль упругости для пакета в целом и определять жесткость пакета по формуле:

$$D = I_z \cdot E_{\text{оср}}, \quad (2)$$

где  $D$  – жесткость пакета;  $E_{\text{оср}}$  – осредненный модуль упругости пакета;  $I_z$  – момент инерции пакета.

Согласно второй модели, жесткость пакета равна сумме жесткости каждого слоя:

$$D_{\text{пакета}} = \sum D_i, \quad (3)$$

здесь

$$D_i = I_{zi} \cdot E_i, \quad (4)$$

где  $D_i$  – жесткость каждого слоя, входящего в пакет;  $I_{zi}$  – момент инерции листа шпона;  $E_i$  – модуль упругости листа материала шпона вдоль оси пакета.

Для уточнения данной теории и возможности ее применения в производстве декоративных слоистых материалов проводились серии экспериментов по определению модуля упругости и величины деформации тонкослойного древесного материала (лущеный шпон березы толщиной 1,2 мм) [2]. Эксперимент был проведен при дисперсии 0,001; среднем квадратичном отклонении 0,030; коэффициент вариации составил 5,64%. Для анализа результатов, полученных в ходе проведения экспериментов, были построены графические зависимости модуля упругости и величины деформации от угла между направлением волокон и осью изгиба. Данные графики представлены на рис. 1 и 2 соответственно.



Рис. 1. Зависимость модуля упругости от угла между направлением волокон и осью изгиба



Рис. 2. Зависимость величины деформации от угла между направлением волокон и оси изгиба

Приведенные зависимости отражают влияние угла между направлением волокон и осью

изгиба на модуль упругости и величину деформации пакета. При изменении угла от 0 до 90° модуль упругости увеличивается более чем в 20 раз, а величина возможной деформации – в 2,5 раза. Принимая во внимание полученные экспериментальные данные, расчет жесткости пакета, состоящего из анизотропного материала корректнее определять по следующей формуле:

$$D_{\text{пакета}} = \sum D_i, \quad (5)$$

здесь

$$D_i = I_{zi} \cdot E_i(\alpha), \quad (6)$$

где

$$E_i(\alpha) = E_{\parallel} \cdot \cos(\alpha) + E_{\perp} \cdot \sin(\alpha), \quad (7)$$

здесь  $E_{\parallel}$  – модуль упругости листа материала шпона в направлении, параллельном направлению волокон;  $E_{\perp}$  – модуль упругости листа материала шпона в направлении, перпендикулярном направлению волокон;  $\alpha$  – угол между направлением волокон листов шпона и осью изгиба пакета.

Использование предлагаемой формулы при расчете жесткости пакета позволит учитывать угол между направлением волокон и осью изгиба пакета (рис. 3).

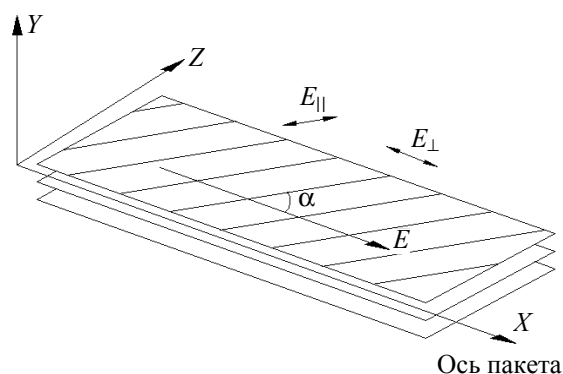


Рис. 3. Схема возможного расположения отдельных слоев в паке

Очевидно, что чем больше величина прогиба слоистой конструкции, тем больше степень деформирования каждого из слоев. Относительная деформация слоя определяется по формуле [3]

$$\xi_i = \frac{h_i}{2 \cdot \rho_i}, \quad (8)$$

где  $h_i$  – толщина  $i$ -го листа шпона, мм;  $\rho_i$  – радиус изгиба  $i$ -го листа шпона в пакете, мм.

Зная величину прогиба, радиус кривизны, толщину каждого слоя, из которого состоит

пакет, ориентацию этих слоев относительно направления изгиба, можно определить и оценить степень деформации каждого из слоев, сравнивая их с предельно допустимыми деформациями.

Таким образом можно решать и обратную задачу. Зная предельную деформацию, толщину отдельных слоев, можно определить максимально возможный радиус изгиба каждого слоя, а следовательно, и всего декоративного пакета в целом, исходя из прочности отдельных слоев, и, как результат, рассчитать максимальный прогиб всего пакета.

В итоге по величине прогиба, жесткости пакета и с учетом схемы нагружения можно рассчитать максимальную нагрузку на пакет.

При более глубоком изучении данного вопроса мы убедились, что модели расчета деформативности слоистых конструкций, приведенные в литературе, не учитывают влияния коэффициента трения. Однако при нагрузках пакет сжимается и возникают реакции, которые давят на слои, сила давления воздействует на них, и поскольку есть силы давления, то есть и трение между слоями, а следовательно, есть и касательные напряжения сопротивлению сдвига, которые определяются по формуле

$$\tau = F_{\text{тр}} \cdot S_{\text{пласт}} \quad (9)$$

С целью определения влияния касательных напряжений на деформирование слоистого пакета был проведен ряд экспериментов. В процессе эксперимента проверялось влияние изменения величины трения между слоями на возможный прогиб пакета. В ходе испытаний исследовались пакеты без фиксации с торцов (рис. 4, а) и с различной степенью фиксации торцов пакета (рис. 4, б). Для изменения величины трения отдельных слоев пакета между листами шпона, собранными в пакет, добавлялись песок, полиэтилен и клей.

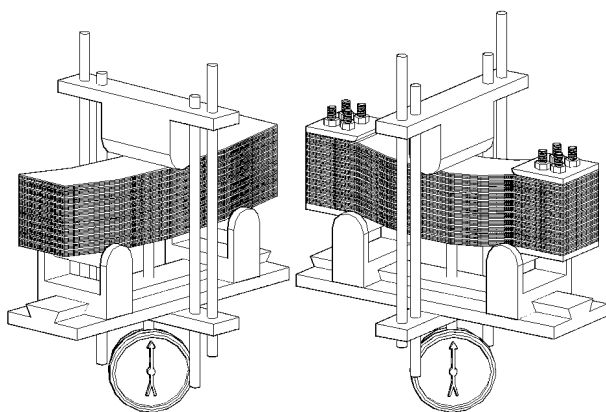


Рис. 4. Схема пакета без фиксации (а) с фиксацией (б) с торцов пакета

Эксперимент был проведен при дисперсии 0,001; среднем квадратичном отклонении 0,030; коэффициент вариации составил 5,2%.

Результаты исследований представлены графическими зависимостями на рис. 5 и 6.

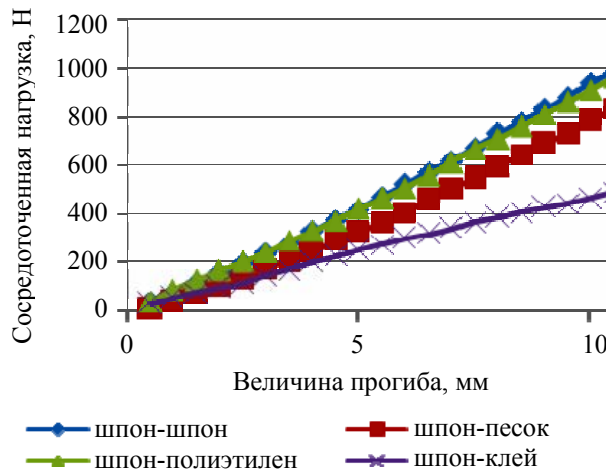


Рис. 5. Пакеты шпона из 30 слоев без фиксации с торцов

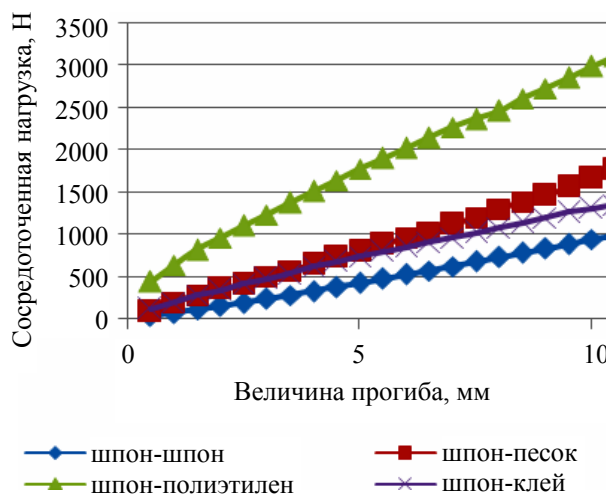


Рис. 6. Пакеты шпона из 30 слоев с фиксацией с торцов в 5 Н/мм<sup>2</sup>

При анализе полученных результатов видно, что прогиб 10 мм пакета с различными значениями коэффициента трения между слоями достигается при различных нагрузках. Другими словами, в зависимости от условий трения отдельных слоев прогиб пакета различен по своей величине при одинаковой степени нагружения. Поскольку пакет деформируется по одной схеме нагружения, описываемой одним и тем же уравнением (1), а прогибы пакетов различны, то жесткость пакета изменяется, следовательно, она не равна сумме жесткостей отдельных слоев пакета:

$$D_{\text{пакета}} \neq \sum D_i.$$

Это обуславливает необходимость учитывать касательные напряжения и коэффициент трения между листами шпона.

С одной стороны, если подробно рассмотреть схему деформации пакета при нагружении сосредоточенной силой (рис. 7), то можно отметить, что в точке А фактически нет никакого трения (т. е. листы шпона в точке А не перемещаются относительно друг друга), в точке Б трение максимально (т. е. листы шпона в точке Б имеют максимальное смещение относительно друг друга), следовательно, мы имеем дело с неоднородным трением по длине.

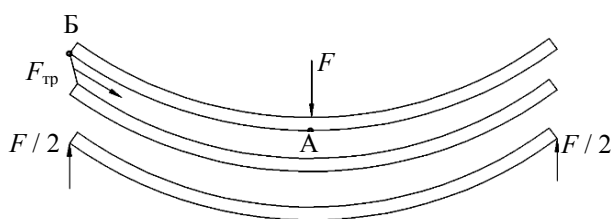


Рис. 7. Схема деформации пакета при нагружении сосредоточенной силой

С другой стороны, распределение давления по толщине пакета между слоями будет происходить по схеме, приведенной на рис. 8.

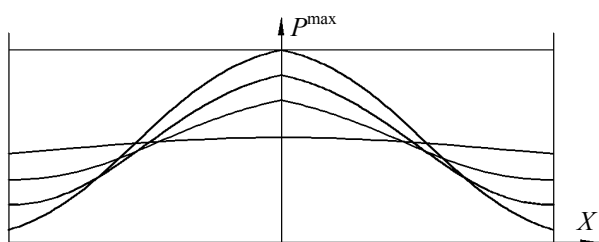


Рис. 8. Схема распределения давления по толщине пакета между слоями

При нагружении сосредоточенной силой верхний слой пакета будет нагружаться максимально в середине, к периферии нагрузка значительно снижается. За счет упругих свойств и жесткости верхних слоев усилия нагружения на последний слой будет значительно меньше, чем на первый в центре пакета. На концах пакета наблюдается обратная ситуация: нижний слой за счет реакций имеет максимальную нагрузку на периферийной части и минимальную нагрузку в центре. Таким образом, мы наблюдаем неоднородное распределение нагрузки по толщине пакета.

Следовательно, изменение касательных напряжений надо определять как функцию от функций трения и величины нагружения:

$$\tau(x) = p(x) \cdot f_{\text{тр}}(x). \quad (10)$$

Проведенные исследования показали, что предельное доформативное состояние слоистой

конструкции из анизотропного материала необходимо определять через жесткость пакета по формуле

$$D = f(\tau(x); I_{zi}; E_i(\alpha)). \quad (11)$$

**Закключение.** В результате проведенных исследований точно определено, что получение разнообразных рисунков на поверхности декоративного слоистого материала возможно с применением сочетания различных схем нагружения.

Теоретические исследования выявили тот факт, что деформация пакета не зависит от схемы нагружения и обратно пропорциональна жесткости пакета.

Полученные экспериментальные данные отражают влияние угла между направлением волокон листа шпона и осью изгиба пакета на модуль упругости и величину деформации пакета. При изменении угла от 0 до 90° модуль упругости увеличивается более чем в 20 раз, а величина возможной деформации в 2,5 раза.

Проведенные исследования показали, что в зависимости от условий трения отдельных слоев прогиб пакета различен по своей величине при одинаковой степени нагружения, следовательно, жесткость пакета не равна сумме жесткостей отдельных слоев пакета.

Раскрыта необходимость при расчете жесткости декоративного слоистого пакета учитывать касательные напряжения как функцию от функций трения и величины нагружения.

Принимая во внимание все вышеизложенное, можно, зная величину прогиба, радиус кривизны, толщину каждого слоя, из которого состоит пакет, ориентацию этих слоев относительно направления изгиба, определить и оценить степень деформации каждого из слоев, сравнивая их с предельно допустимыми деформациями. И наоборот, зная предельную деформацию, толщину отдельных слоев, можно определить максимально возможный радиус изгиба каждого слоя, а следовательно, и всего декоративного пакета в целом, исходя из прочности отдельных слоев, и, как результат, рассчитать максимальный прогиб всего пакета.

### Литература

1. Шамаев, В. А. Модификация древесины: учеб. пособие / В. А. Шамаев. – М.: Экология, 1991. – 128 с.
2. Пижурин А. А. Исследования процессов деревообработки: учеб. пособие / А. А. Пижурин, М. С. Розенблит. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 231 с.
3. Шамаев, В. А. Проблемы изготовления модифицированной древесины / В. А. Шамаев // Лесной журнал. – 2005. – № 6. – С. 88–92.

Поступила 15.03.2011

УДК 674.093.3

**В. И. Пастушени**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА СКЛАДЕ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО КАЧЕСТВЕННУЮ ПОДГОТОВКУ  
ПИЛОМАТЕРИАЛОВ К РЕАЛИЗАЦИИ**

Рассмотрены требования, предъявляемые к подготовке пиломатериалов для реализации, обеспечивающие повышение конкурентоспособности пилопродукции. Разработана и дана схема технологического процесса на складе пиломатериалов при их внутризаводской переработке и отгрузке на внешний рынок. Рассмотрены основные технологические операции и оборудование, обеспечивающие качественную подготовку пиломатериалов к реализации на внешний рынок. Разработана и представлена схема технологической планировки склада пиломатериалов при их внутризаводской переработке и отгрузке на внешний рынок.

Article is devoted working out of technological process in a warehouse of the saw-timbers, providing qualitative preparation of saw-timbers by delivery to their consumers. The requirements shown to preparation of saw-timbers for realization, providing competitiveness increase пилопродукции are considered. The scheme of technological process in a warehouse of saw-timbers is developed and given at their intrafactory processing and shipment on a foreign market. The basic technological operations, and the equipment, providing qualitative preparation of saw-timbers for realization on a foreign market are considered. The scheme of a technological lay-out of a warehouse of saw-timbers is developed and presented at their intrafactory processing and shipments on a foreign market.

**Введение.** Важнейшей задачей лесопильно-производства является рациональное и комплексное использование исходного древесного сырья с получением высококачественной спецификационной пилопродукции. Для решения этой задачи необходимо не только выбрать оптимальные схемы раскроя сырья и организовать рациональную технологию его распиловки на современном оборудовании, но и обеспечить правильную подготовку бревен к раскрою, а пиломатериалов к реализации. Это позволит распиливать сырье по оптимальным поставкам, увеличить объемный выход пилопродукции и не только удовлетворить потребности республики, но и получить дополнительную пилопродукцию для реализации ее на экспорт. При поставке пилопродукции на экспорт она должна соответствовать требованиям стандартов и потребителей не только по качеству древесины, но и по качеству подготовки ее к реализации, включая влажность, размеры спецификации, внешний вид транспортных пакетов. В настоящее время на большинстве лесопильно-деревообрабатывающих предприятий пиломатериалы в основном вырабатываются в необрезном виде для внутризаводской переработки. Излишне выработанные пиломатериалы в таком виде без необходимой подготовки реализуются другим потребителям внутри Республики Беларусь по низким ценам, так как на внешнем рынке такая пилопродукция имеет очень низкую стоимость или вообще не пользуется спросом. Выработка пиломатериалов в соответствии с требованиями спецификации и качественная подготовка к реализации повысят их конкурентоспособность не

только в странах СНГ, но и на внешнем рынке. Все эти работы по подготовке продукции к реализации выполняются на складе пиломатериалов лесопильных предприятий. В результате проведенных исследований разработана схема организации работ на складе, обеспечивающая необходимую подготовку пиломатериалов к реализации [1].

**Основная часть.** Технологический процесс на складе выбирается в зависимости от назначения пиломатериалов (товарные, для внутризаводского потребления), способа их сушки (атмосферная, искусственная). На современных предприятиях применяется способ единого технологического пакета, при котором транспортные и грузоподъемные операции выполняются с досками, уложенными в пакеты примерно одного размера, объема и веса, что позволяет правильно организовать и комплексно механизировать все работы на складе пиломатериалов [2].

Технология работ на складе зависит от назначения пиломатериалов и объемов производства. На предприятиях, работающих на внешний рынок, с частичной внутризаводской переработкой пиломатериалов и объемом их производства до 100 тыс. м<sup>3</sup> в год выполняются все операции, предусмотренные технологической схемой (рис. 1).

С целью качественной подготовки пиломатериалов к реализации на складах выполняются: формирование сушильных пакетов пиломатериалов, антисептирование, сушка, окончательная обработка товарных пиломатериалов, их сортировка по качеству и длине и формирование транспортных пакетов.